Metáforas para o Ensino de Ciências em Aambientes de Realidade Virtual

Simon Jefferson Silva e Silva¹, José Luiz de Souza Pio²

¹Instituto de Ciências Exatas (ICE) – Universidade Federal do Amazonas (Ufam)) Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I – 69080-900 – Manaus – Am – Brazil

²Instituto de Computação (IComp) – Universidade Federal do Amazonas (Ufam) Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I – 69080-900 – Manaus – Am – Brazil

lesimonjef@gmail.com, josepio@icomp.ufam.edu.br

Abstract. This article presents an approach to build pedagogical contents representation and concepts development for teaching science in a virtual reality environment. The approach is developed from a set of computational metaphors obtained in the virtual reality environment that are associated and organized in a dynamic structure for the aggregation of new concepts. Experimental applications shows the model feasibility and its contribution to learning, verified through the increase of the conceptual structure compared through the conceptual maps and the application of questionnaires.

Resumo. Este artigo apresenta uma abordagem para a construção e representação de conteúdos pedagógicos para o desenvolvimento de conceitos para o ensino de ciências em um ambiente de realidade virtual. A abordagem é desenvolvida a partir de um conjunto de metáforas computacionais obtidas no ambiente de realidade virtual que são associadas e organizadas em uma estrutura dinâmica para a agregação de novos conceitos. As aplicações experimentais mostraram a viabilidade do modelo desenvolvido e sua contribuição para aprendizagem, verificada por meio do aumento da estrutura conceitual comparada por meio dos mapas conceituais e da aplicação de questionários.

1. Introdução

A tecnologia de realidade virtual tem favorecido novas formas de ensinar ciências. A imersão do aluno em um ambiente virtual proporciona a ele uma experiência inovadora, com sensações reais de vivência na interação com um cenário virtual, mas próximo da realidade, contribuindo para o entendimento das percepções e permitindo que o próprio aluno descubra, explore e construa o seu próprio conhecimento.

Nos últimos anos, parte da pesquisa científica em informática na educação têm se voltado para as aplicações da realidade virtual no ensino, fazendo uso dessa tecnologia como uma ferramenta computacional para contribuir efetivamente no processo de Ensino-Aprendizagem [Loftin et al. 1993, Manseur 2005, Santos et al. 2012, Silva e de Souza 2013, Tuma et al. 2014]. Os problemas desafiadores dessa área envolvem tanto os aspectos tecnológicos como pedagógicos, quanto a necessidade de representações que possam capturar a realidade e mapeá-la nos processos de ensino em ambientes virtuais [Wu et al. 2013, Martín-Gutiérrez et al. 2016]. Isso tem motivado a

DOI: 10.5753/cbie.sbie.2017.725

comunidade científica a propor novos modelos que possam associar conceitos científicos aos processos de Ensino-Aprendizagem nos ambientes de realidade virtual.

O objetivo principal deste trabalho é criar um modelo para a representação de conteúdos pedagógicos adequados para o desenvolvimento de conceitos básicos para o ensino de ciências ministrados em um ambiente de realidade virtual.

A abordagem desenvolvida neste trabalho organiza o conhecimento no ambiente de realidade virtual por meio de metáforas. O termo metáfora é oriundo do grego *metaphorá*, que significa mudança, transposição, transferência. É a técnica de colocar um símbolo no lugar de outro com a finalidade de promover a comunicação efetiva e gerar interação com domínios distintos [Marcus 1998]. As metáforas são, assim, compreendidas como representações da realidade no domínio virtual. Essas representações são identificadas, associadas e organizadas em um modelo formado por uma estrutura dinâmica para a agregação de novos conceitos representativos de um determinado domínio do conhecimento em uma base conceitual já formada ou em formação. O modelo gerado é capaz de mapear concepções mentais em conceitos científicos básicos, viabilizando a organização sistemática e dinâmica desses conceitos, favorecendo o processo de Ensino-Aprendizagem de ciências em um ambiente de realidade virtual.

Sob a ótica da Teoria da Aprendizagem este trabalho se relaciona fortemente com o Construtivismo de Jean Piaget. O Construtivismo é uma proposta pedagógica cuja a principal premissa é que o conhecimento é uma construção mental, produto da interação do homem com o meio [Abreu et al. 2010]. No Construtivismo, a única fonte do conhecimento humano é a experiência adquirida em função do meio físico mediada pelos sentidos. O foco desta teoria é a manipulação do ambiente externo como mecanismo de mudança de condutas observáveis. A aprendizagem não acontece de forma passiva pelo aluno, cabendo ao professor a tarefa de criar possibilidades enquanto sujeito mediador da aprendizagem e promover situações problema que permitam o conflito e consequentemente avanço cognitivo de cada aluno na sua individualidade, promovendo o desenvolvimento das estruturas de pensamento, raciocínio lógico, julgamento e argumentação [Becker 1992].

2. Trabalhos Relacionados

O uso de metáforas para o ensino de ciências é um tema frequentemente explorado pelos pesquisadores da área de ensino. O trabalho de [Silva e Martins 2010] analisou a utilização das analogias e metáforas presentes nos materiais didáticos recomendados pelo programa nacional do livro didático para o ensino médio PNLEM/2007. Mostrou ainda que o mapa conceitual é uma ferramenta satisfatória para a utilização das metáforas e aplicação em sala de aula. Essas ideias serviram de base para desenvolvimento neste trabalho do modelo por meio das metáforas.

Por outro lado, o trabalho de [Wickens 1992] já demonstrava a aplicabilidade e as vantagens e desvantagens da realidade virtual para o ensino. [Trindade 1996] também mostrou a aplicação da realidade virtual para o ensino de ciências em projetos desenvolvidos em grandes universidades norte-americanas. Esses projetos utilizavam a realidade virtual para simular o espaço sideral e plicar conhecimentos físicos que seriam impossíveis no ambiente real, como, por exemplo, inverter o sentido da gravidade.

No trabalho de [Potkonjak et al. 2016], os autores discutiram o estado da arte dos

laboratórios virtuais para o ensino de ciências e engenharia. Os autores mostraram que devido a natureza do domínio dos ambientes virtuais o ensino de ciência, tecnologia e engenharia ainda está relativamente atrasado quanto ao uso desses novas abordagens tecnológicas. O motivo dessa discrepância reside no fato de que esses campos muitas vezes exigem exercícios de laboratório para proporcionar uma aquisição efetiva de habilidades e experiência prática. Muitas vezes, é difícil tornar esses laboratórios acessíveis *on-line*. A solução viável nos próximo anos é tornar os laboratórios reais habilitado para acesso remoto ou replicá-los como laboratórios virtuais totalmente baseado em software.

Recentemente, de maneira similar ao modelo desenvolvido neste artigo, [Seo et al. 2017] apresentou um modelo pedagógico construtivista alternativo para o ensino de anatomia canina em um ambiente de realidade virtual. O foco principal do estudo foi identificar a montagem dos ossos de cachorros com base na orientação do animal vivo, utilizando ossos caninos reais dos membros torácicos e os ossos do membro pelviano no ambiente de realidade virtual. Este trabalho mostrou como um método construtivista poderia apoiar o ensino de anatomia ao usar tecnologia de realidade virtual de forma ativa e experimental.

Por sua vez, em [Schlacht et al. 2017] os autores pretenderam abrir um debate sobre como ampliar a confiabilidade da realidade virtual visando aumentar o número de possíveis aplicações nos campos da educação, entertenimento e da segurança. As ideias discutidas por esses autores embassaram e reforçaram a necessidade do desenvolvimento de modelos mais adequados para a representação e aplicação de conteúdo didático voltados ao ensino de ciências em ambiente de realidade virtual.

3. Metodologia

O procedimento metodológico desenvolvido para a construção do modelo está dividido em quatro etapas, vistas na Figura 1: Escolha do ambiente de realidade virtual; Construção das metáforas; Construção dos Modelo Conceitual e Verificação Conceitual. Essas etapas procedimentais formam um fluxo lógico formalizados pela escolha de um ambiente de realidade virtual, a identificação e construção das metáforas fundamentais (Ensino, Ambiente e Aprendizado) e a verificação conceitual do modelo. Estes procedimentos estão detalhados nas seções eguintes.

3.1. Escolha do Ambiente de Realidade Virtual

A escolha do ambiente de realidade virtual consiste na identificação dos objetos, cenários e características físicas para a execução das atividades com potencial para o desenvolvimento dos conceitos científicos. Por meio do ambiente virtual que se identificam as metáforas que levam o aluno a entender que as traduções da realidade para o virtual obedecem leis científicas e que são aplicadas no ambiente virtual de forma análoga ao mundo real.

3.2. Construção das Metáforas

Propõem-se um conjunto de procedimentos para identificação e construção de metáforas dividido em quatro procedimentos principais:

1. Observação do ambiente real: busca caracterizar o ambiente virtual por meio de relações existentes com o ambiente real. Dessa forma, pode-se inserir ou relacio-



Figura 1. Processo de desenvolvimento metodológico. A partir da escolha de um ambiente virtual as metáforas são identificadas, mapeadas e associadas a um modelo conceitual.

nar objetos, propriedades, características físicas e cenários dentro do ambiente de realidade virtual com os elementos do ambiente real.

- 2. Identificação das características do ambiente real e possam ser traduzidas no ambiente virtual: Procura-se estabelecer a relação do real (conhecido) com virtual (a ser construído) por meio do conhecimento prévio do aluno baseado em suas experiências vivenciadas e de seus conceitos subsunçores.
- 3. Tradução das convenções do contexto real para o ambiente virtual: Define-se as formas de interação entre o aluno e os objetos virtuais, caracterizando as metáforas que auxiliam na aprendizagem do aluno.
- 4. Montagem das metáforas: Descrevem-se as três principais metáforas do modelo: A Metáfora do Ambiente, a Metáfora de Ensino e a Metáfora de Aprendizagem, cuja as descrições e as montagens estão desenvolvidas em seguida.

A Metáfora do Ambiente representa os objetos, cenários e características do ambiente de realidade virtual e suas interações que contribuem para o desenvolvimento do ensino no domínio do conhecimento trabalhado. Está relacionada com o ambiente virtual propriamente dito, todas as suas propriedades, suas características, seus recursos e suas ferramentas de interação com alunos e professores. A metáfora de ambiente é constituída pelas seguintes representações:

- 1. Aparência dos objetos: Trata-se da identificação dos objetos a serem utilizados no ambiente virtual. Esses objetos fundamentam os aspectos de situações científicas a serem observadas no ambiente virtual.
- 2. Representação dos professores: Trata-se da caracterização do fenômeno científico a ser desenvolvido e observado. Essa representação formaliza a utilização dos objetos, conceitos e as leis científicas que devem reger a dinâmica da relação que produz a associação do conhecimento científico com o ambiente virtual.
- 3. Representação dos alunos: Trata-se das representações e experiências do ambiente real vivenciadas pelos alunos e suas relações com o ambiente virtual. Essa representação formaliza todo o contexto da aplicação científica que envolverá o aluno no ambiente e quais atividades em potencial do cenário contribuirão para o processo Ensino-Aprendizagem.

As Metáforas de Ensino traduzem como as informações que serão apresentadas aos alunos. Podem ser pensadas como uma abordagem capaz de atribuir ao ambiente de realidade virtual significados físicos capazes de proporcionar um avanço para estruturação e ampliação dos conhecimentos prévios do aluno. Esta metáfora está associada a sequência didática que o professor precisa realizar antes de utilizá-las em sala de aula. Existem três informações importantes que devem ser obtidas para compor a Metáfora de Ensino:

- Informação do contexto do aluno: Busca-se por situações que aproxime o aluno da sua realidade, desenvolvendo a ligação entre o conhecido e os novos conceitos científicos.
- 2. Informação do domínio do conhecimento científico: Busca-se pelas leis e conceitos científicos que fundamentam os fenômenos e a forma adequada para aplicá-los no ambiente virtual.
- 3. Informação das relações científicas entre ambiente e contexto: Relaciona o ambiente virtual com as contextualizações do aluno. Busca-se por explicações da aplicabilidade da ciência na situação vivenciada pelo aluno.

A Metáfora de Aprendizagem busca pelas relações que o ambiente real possui com o ambiente virtual, promovendo na imersão do aluno uma vivência quase real e verídica, em alguns momentos produzindo uma dúvida do real no cognitivo do aluno. Buscou-se uma classificação de três etapas da seguinte forma:

- 1. Interação ambiente real e ambiente virtual: O processo de construção utiliza a convenção de representatividade da realidade dos alunos traduzida em ambiente de realidade virtual por meio de suas características. Dessa forma, procura-se a aproximação da fidelidade da realidade para o virtual.
- 2. Interação ambiente virtual e aluno: Busca-se a interação dos objetos virtuais e situações contextualizadas do ambiente virtual junto as experiências que o aluno vivencia e experimenta no ambiente virtual.
- 3. Interação aluno e conhecimento: Busca-se por objetivos que precisam ser alcançados para que o aluno possa adquirir o conhecimento desejado por meio de interação da situação contextualizada.

3.3. Construção do Modelo Conceitual

O modelo conceitual e composto pelo mapa conceitual e de uma ou mais sequências didáticas derivadas da organização das metáforas. Em sua forma gráfica, os mapas conceituais correspondem a diagramas hierárquicos que mostram a organização e correspondência entre conceitos, que são apresentados pelo desdobramento de um conceito em outros que estão contidos (diferenciação progressiva) e pelas relações entre conceitos aparentemente diferentes (reconciliação integrativa).

O mapa conceitual do modelo é construído pelo professor a partir da identificação das metáforas de Ensino, Aprendizagem e Ambiente. A sequência procedimental cosiste, basicamente, na associação entre o domínio do conhecimento de interesse com as metáforas do modelo. A Figura 2 mostra um mapa conceitual genérico (um *template*), útil para o desenho inicial do modelo. As metáforas são desdobradas em conceitos por meio da aplicação da diferenciação progressiva. Esses conceitos são conectados em uma estrutura lógica e flexível de desenvolvimento capaz expandir ou compactar conceitos novos ou antigos.

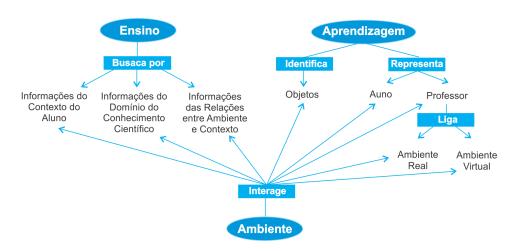


Figura 2. Uma representação genérica do modelo conceitual das metáforas. Mostra as principais metáforas e suas relações. Este modelo deve ser adaptado ao contexto e ao ambiente realidade virtual.

Ao dispor sob a forma gráfica de um mapa conceitual, relacionando os novos conceitos com os conceitos já conhecidos (conhecimento prévio), estabelece-se uma hierarquia e a determinação de propriedades cujo o professor passa a desenvolver um processo ensino em que ele próprio orienta a aquisição de novas informações no ambiente de realidade virtual, uma vez que estas informações estão diretamente relacionadas com a estrutura do conhecimento prévio do aluno.

Do mapa conceitual, em particular da metáfora de Ensino, deriva-se uma sequência didática, um conjunto de atividades ligadas entre si, planejadas para ensinar o conteúdo, etapa por etapa. Esta sequência didádica é organizada de acordo com os objetivos que o professor quer alcançar para a aprendizagem de seus alunos, envolvendo todas as atividades de aprendizagem e de avaliação.

3.4. Verificação Conceitual

Na verificação conceitual, o professor inspeciona a organização do conhecimento, a associação entre a estrutura lógica do mapa com as metáforas, a necessidade de exclusão ou inclusão de conceitos, ajusta suas sequências didáticas e retifica o raciocínio em função da construção do mapa a da associação das metáforas.

4. Aplicações Experimentais

Foram aplicados dois procedimentos experimentais. O primeiro procedimento objetivou verificar se a aplicação do modelo de metáforas viabiliza o aprendizado em um ambiente de realidade virtual. A segunda aplicação é um questionário que busca verificar o conhecimento científico adquirido no processo. Os experimentos foram aplicados em alunos da 1^a série do ensino médio de uma escola da rede particular de ensino da cidade de Manaus, no ano de 2017. O conjunto amostral foi composto por uma turma com 36 alunos regulares, que já dominavam a técnica de construção de mapas conceituais.

Adotou-se o dispositivo de realidade virtual *Gear Reality Virtual Headset* da Samsung, disponível na plataforma Android para o *Smartphone Samsung* modelo S7. O software utilizado na plataforma de realidade virtual foi o *The Expanse VR*, cujo o enredo é

um suspense de ficção científica em que os seres humanos colonizaram Marte e os cintos de asteroides externos (Figura 3 (b)). A Figura 3 (a) Mostra uma aluna usando o dispositivo de realidade virtual durande o processo de imersão.

Para a construção do modelo e mapeamento das metáforas, o professor seguiu todas as etapas do modelo e fez a imersão no espaço virtual do *Gear Reality Virtual* procurando pelos melhores ambientes, estratégias de utilização e diversas formas de entrelaçamento do ambiente com o conhecimento a ser trabalhado.

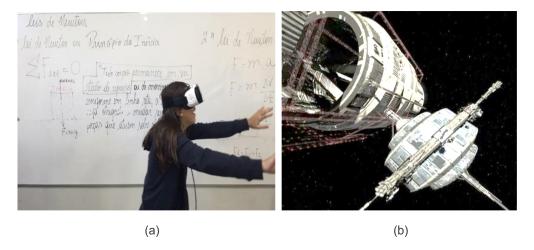


Figura 3. (a) Aluna imersa no ambiente *Gear Reality Virtual* durante a aplicação experimental. (b) Visualização do ambiente virtual utilizado.

4.1. Viabilização do Modelo de Metáforas

O primeiro conjunto de experimentos objetivou verificar de forma qualitativa se a aplicação do modelo viabilizava em parte ou integralmente o aprendizado efetivo no ensino de Ciências em ambientes de realidade virtual. A aplicação escolhida foi no domínio da Física, especificamente conteúdos referentes às Leis de Newton, conteúdo este já de conhecimento prévio dos alunos, tendo sido desenvolvido por todos no 9º ano.

Dos 36 alunos, 18 foram selecionados aleatoriamente e participaram da explicação do conteúdo dado pelo professor antes de imergirem no ambente virutal. Os outros 18 alunos não receberam informação sobre conteúdo, preservando o conhecimento prévio adquirido em anos anteriores. Seguindo o modelo, foi solicitado aos alunos que desenvolvessem seus mapas conceituais. Assim, foram obtidos 36 mapas conceituais, 18 mapas conceituais com explicação do conteúdo (referenciado por Mapa Conceitual A, ou MCA) e 18 mapas conceituais sem explicação alguma (referenciado por Mapa Conceitual B, ou MCB).

Cada aluno fez a imersão individualmente e durante o processo de imersão seguiuse a sequência didática do professor, que orientava os alunos para observarem às situações virtuais em relação às situações reais, os objetos virtuais, o cenário e as possíveis leis da Física que estariam presente ou atuando no ambiente virtal.

Em seguida foi solicitado que todos os alunos fizessem seus novos mapas conceituais, referenciados como mapas conceituais finais, ou MCF. Foram construídos 36 mapas conceituais MCF. Por meio do MCF verificou-se a expansão dos conceitos utilizados em

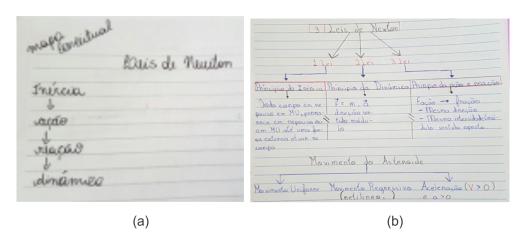


Figura 4. Mapas conceituais MCA e MCF, construídos pelos a alunos antes (a) e depois (b) da imersão no ambiente de realidade virtual.

relação ao conhecimento prévio, mostrados no MCA e MCB. As expansões na estrutura conceitual são caracterizadas pelo aumento da frequência do uso de termos. Percebeu-se um crescente aumento no número de conceitos, passando de 12 para um total de 16 conceitos. Exemplos desses mapas são vistos na Figura 4, onde já se percebe o considerável aumento dos conceitos registrados.

A Figura 5 mostra o resultado da categorização dos conceitos dos mapas conceituais elaborados pelos alunos. Verifica-se no gráfico de barras da Figura 5 o surgimento de novos conceitos após a imersão do aluno no ambiente de realidade virtual. Nota-se ainda o aumento da frequência dos conceitos em relação as estruturas conceituais anteriores. As três maiores frequências utilizadas foram verificadas nos termos Leis de Newton, Ação e Reação, Inércia, Dinâmica, enunciado e exemplo da Ação e Reação, enunciado e exemplo da Inércia, Movimento Uniforme e Movimento Acelerado.

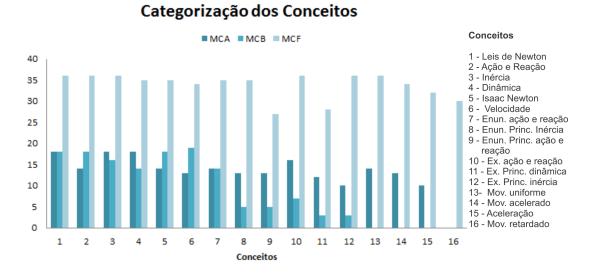


Figura 5. Categorização e frequência dos conceitos nos mapas conceituais MCA, MCB e MCF.

4.2. Aplicação e Análise dos Questionários

Após a conclusão do mapa conceitual final (MCF) os 36 alunos forma submetidos a um questionário montado com três perguntas abertas e uma fechada. As perguntas versavam sobre o conhecimento científico desenvolvido no ambiente de realidade virtual e estão descritas em seguida.

A primeira questão: Em relação ao asteroide que aparece no ambiente de realidade virtual. Suponha qual sua velocidade no momento que se aproxima, no momento que está no ponto mais próximo e no momento que se distancia em relação a você? Em que se baseia sua resposta? A quantidade de respostas corretas foram 28, em um total de 36 alunos, com um aproveitamento percentual de 78%.

A segunda questão: Em relação ao asteroide que aparece no ambiente de realidade virtual. Qual é a suposta aceleração no momento que se aproxima, no momento que está no ponto mais próximo e no momento em que o asteroide se distancia de você? Em que se baseia sua resposta? Foram contabilizadas 30 respostas corretas, em um total de 36 alunos, com percentual de 83%.

A terceira questão: Em relação ao asteroide que aparece no ambiente de realidade virtual. Suponha qual a força resultante no momento que se aproxima, no momento que está no ponto mais próximo e no momento que o asteroide se distancia de você? Em que se baseia sua resposta? Foram obtidos uma quantidade de 32 corretos, equivalente a aproximadamente 89%.

A quarta questão: Quando você foi imerso no ambiente de realidade virtual, o asteroide deslocava-se de um ponto ao outro do ambiente virtual. Assinale a alternativa que classifica o tipo de movimento do asteroide: a) Movimento curvilíneo, b) Movimento Retilíneo, c) Movimento Retilíneo Uniformemente Variado, d) Movimento Retilíneo Uniforme, e) Movimento Circular Variado. A quantidade de alternativas corretas foram 28, representando um percentual de aproximadamente 78%.

Os resultados mostraram que as metáforas de ensino planejadas pelo professor trouxeram uma contribuição significativa e os alunos conseguiram utilizar satisfatoriamente a metáfora da aprendizagem.

5. Conclusão

Neste trabalho construiu-se um modelo para a representação conteúdos pedagógicos adequados no desenvolvimento de conceitos básicos para o ensino de ciências por meio da identificação e organização das metáforas de um ambiente de realidade virtual. A abordagem mostrou-se capaz de auxiliar ao professor de forma diferenciada e envolvendo todos os alunos no processo, agregando conceitos e situações próximas da realidade em um modelo integrável, bem documentado e expansível em torno dos conceitos estudados.

O aprendizado em ambientes de realidade virtual induz o aluno a ser sujeito e construtor de sua aprendizagem. A utilização do modelo de metáforas mostrou-se como uma estratégia pedagógica que possibilita a criação de sequências didáticas voltadas para um novo tipo de pensamento operacional dependente das relações cognitivas entre o real e o virtual no processo de Ensino-Aprendizagem nos ambientes de realidade virtual.

Os autores agradecem à FAPEAM pelo aporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Abreu, L. C. d., Oliveira, M. A. A. d., Carvalho, T. D. d., Martins, S. R., Gallo, P. R. A., e Reis, A. O. A. A.-n. (2010). A epistemologia genética de Piaget e o construtivismo. *Journal of Human Growth and Development*, 20:361 366.
- Becker, F. (1992). O que é construtivismo. *Revista de educação AEC, Brasília*, 21(83):7–15.
- Loftin, R. B., Engleberg, M., e Benedetti, R. (1993). Applying virtual reality in education: A prototypical virtual Physics laboratory. In *Virtual Reality, 1993. Proceedings., IEEE 1993 Symposium on Research Frontiers in*, pages 67–74. IEEE.
- Manseur, R. (2005). Virtual reality in science and engineering education. In *Frontiers in Education*, 2005. FIE'05. Proceedings 35th Annual Conference, pages F2E–8. IEEE.
- Marcus, A. (1998). Metaphor design in user interfaces. *ACM SIGDOC Asterisk Journal of Computer Documentation*, 22(2):43–57.
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., e González-Marrero, A. (2016). Virtual technologies trends in education.
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., e Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 95:309–327.
- Santos, L., de Castro Júnior, A. N., e de Menezes, C. S. (2012). Flexible virtual environments for teaching and learning. In *Frontiers in Education Conference (FIE)*, 2012, pages 1–6. IEEE.
- Schlacht, I. L., Del Mastro, A., e Nazir, S. (2017). Virtual reality for safety, entertainment or education: The mars mission test. In *Advances in Applied Digital Human Modeling and Simulation*, pages 75–83. Springer.
- Seo, J. H., Smith, B., Cook, M., Pine, M., Malone, E., Leal, S., e Suh, J. (2017). Anatomy builder vr: Applying a constructive learning method in the virtual reality canine skeletal system. In *Virtual Reality (VR)*, 2017 IEEE, pages 399–400. IEEE.
- Silva, C. A. S. e Martins, M. I. (2010). Analogias e metáforas nos livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(2):255–289.
- Silva, G. C. e de Souza, P. M. (2013). O uso da realidade virtual para o ensino de Física Quântica. In *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, volume 2.
- Trindade, Jorge e Fiolhais, C. (1996). A realidade virtual no ensino e na aprendizagem da Física e da Química. *Gazeta da Física*, 19(11).
- Tuma, Z., Tuma, J., Knoflíček, R., Blecha, P., e Bradáč, F. (2014). The process simulation using by virtual reality. *Procedia Engineering*, 69:1015–1020.
- Wickens, C. D. (1992). Virtual reality and education. In [Proceedings] 1992 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pages 842–847 vol.1.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., e Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62:41–49.